

อิทธิพลการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิ

ต่อองค์ประกอบและผลผลิตพืชอาหารสัตว์

Effect of Elevated CO_2 and Temperature on Forage Composition and Production

พิพัฒน์ สมภาร

ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี

1. บทนำ

ความสำคัญของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ปัจจุบันทั่วโลกกำลังให้ความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสภาวะเรือนกระจก (greenhouse effect) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากโลกมีการสะสมก๊าซที่ก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจกเพิ่มสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของก๊าซต่างๆในชั้นบรรยากาศของโลกย่อมส่งผลต่อความผันแปรของสภาพภูมิอากาศของโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มสูงขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซสำคัญที่ทำให้เกิดสภาวะเรือนกระจก [1] จากการศึกษาโดยใช้โมเดลของ IPCC [2] พบว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นจากระดับปัจจุบันประมาณ 330 ppm เป็น 660 ppm ในช่วงปี ค.ศ.2050-2090 ซึ่งการเพิ่มสูงขึ้นของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเป็น 2 เท่านี้ จะส่งผลให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น 2.5 องศาเซลเซียสหรืออยู่ในช่วง 1.5-4.5 องศาเซลเซียส

ถึงแม้ว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศจะมีปริมาณมากเป็นอันดับ 4 หรือคิดเป็น 0.036 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ของก๊าซในบรรยากาศเท่านั้น แต่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต 2 ประการสำคัญได้แก่ ประการแรก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกดกลืนรังสีคลื่นยาวที่แผ่กลับออกมาโดยพื้นโลก ซึ่งช่วยรักษาอุณหภูมิผิวโลกให้เหมาะสมต่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิต และประการที่สอง เป็นแหล่งของคาร์บอน ซึ่งเป็นธาตุหลักที่สำคัญในสิ่งมีชีวิตและในวัฏจักรของกระบวนการทางชีว-ธรณี-เคมีของสิ่งมีชีวิต

(biogeochemical cycle) บนโลก [3] สำหรับพืชพบว่าประมาณ 85-92 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของพืชเป็นอนุพันธ์ซึ่งได้มาจากการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง [4]

2. อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโตของพืชอาหารสัตว์

อัตราการเจริญเติบโตของพืชอาหารสัตว์ สามารถวัดได้จากอัตราการเพิ่มขึ้นของวัตถุแห้ง ซึ่งเป็นผลมาจากอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ และอัตราการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ใบ ในหญ้าหลายชนิด การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ใบจะสัมพันธ์กับอัตราการแตกกอ ในขณะที่พืชตระกูลถั่วการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ใบจะสัมพันธ์กับการพัฒนาของระบบรากและอัตราการงอกของใบใหม่ อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโตสามารถวิเคราะห์ได้จากความสัมพันธ์ต่อผลผลิตของกระบวนการต่างๆ เหล่านี้ [5] ซึ่งจากงานทดลองของ Keatinge et al. [6] ได้แสดงให้เห็นว่าการขยายขนาดของใบหญ้า perennial ryegrass (*Lolium perenne* cv. Perma) จะสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศ

หญ้าเซตร้อน (C_4) มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดสูงกว่าพืชตระกูลถั่วเซตร้อนหรือหญ้าเซตอบอุ่น (C_3) เนื่องจากความแตกต่างทางสรีรวิทยา ซึ่งอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดนี้มักเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่าพืชชนิดอื่นๆ อุณหภูมิที่เหมาะสมของหญ้าเซตร้อนแต่ละชนิดจึงเป็นอุณหภูมิที่จำเพาะ หรือมีขีดจำกัดอยู่ในช่วงแคบๆ และแตกต่างจากพืชตระกูลถั่วเซตร้อนและหญ้า

เขตอบอุ่น ซึ่งมีการตอบสนองต่ออุณหภูมิเป็นแบบ flat topped response curve หรือมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกว้างกว่าหญ้าเขตร้อนนั่นเอง [7] ดังนั้นอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของหญ้าเขตร้อนจึงมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากกว่าพืชชนิดอื่นๆ โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิจึงมีค่ามากกว่า 35 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแสง ชนิดของพืชและอายุของพืช อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิจะลดลงเท่ากับ 0 ที่อุณหภูมิระหว่าง 5 ถึง 10 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 52 ถึง 61 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นขีดจำกัดต่ำสุดและสูงสุดของอุณหภูมิ ตามลำดับ [8] พืชตระกูลถั่วเขตร้อนมีอุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณ 31 องศาเซลเซียส และมีค่าอุณหภูมิขีดจำกัดล่างใกล้เคียงกับหญ้าคืออยู่ในช่วง 5 ถึง 8 องศาเซลเซียส แต่มีอุณหภูมิขีดจำกัดบนต่ำกว่า หรือประมาณ 50 องศาเซลเซียส [5]

สำหรับหญ้าเขตอบอุ่น โดยทั่วไปพบว่าการแตกกอมักจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเกิดสภาพที่ช่วงเวลากลางคืนมีอุณหภูมิต่ำและในช่วงกลางวันมีอุณหภูมิสูง [8] ในหญ้าเขตร้อนบางชนิด การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะเป็นเหตุให้อัตราการแตกกอเพิ่มขึ้น ยกตัวอย่างเช่น *Paspalum dilatatum* [9], *Astrelba spp* [10] และ *Penicum maximum var. tricheglume* และ *Pennisetum clandestinum* [8] อย่างไรก็ตามการแตกกอของ *Chloris gayana*, *Cenchrus ciliaris* และ *P. coloratum var. makarikariense* จะไม่ตอบสนองต่ออุณหภูมิ แต่พื้นที่ใบจะเพิ่มขึ้นถ้าอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของขนาดใบจะเกิดเฉพาะใบ (individual leave) [8]

อัตราการพัฒนาของพื้นที่ใบทั้งในพืชตระกูลหญ้าและพืชตระกูลถั่วจะได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิอย่างเด่นชัด อิทธิพลดังกล่าวแสดงให้เห็นในงานทดลองของ Ludlow และ Wilson [11] ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบช่วงในการเจริญเติบโตของหญ้าและถั่วเขตร้อนที่อุณหภูมิตั้งที่ 2 ระดับคือ 20 และ 30 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พืชจะถูกเก็บเกี่ยวได้ภายหลังวันที่ 35 ในขณะที่ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส การเก็บเกี่ยวจะทำให้ภายหลังจากวันที่ 21 และความแตกต่างของน้ำหนักพืชในอุณหภูมิเดียวกันในระยะดังกล่าวจะมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับน้ำหนักของเมล็ด ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส อัตราการเจริญของใบในหญ้าคิดเป็น 6 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเจริญ

ของใบที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และในถั่วคิดเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเจริญของใบที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส [5]

เป็นการยากที่จะประเมินความสำคัญของอิทธิพลของความแตกต่างของอุณหภูมิต่ออัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ และอัตราการแตกใบต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งต้นภายใต้สภาพแปลงหญ้า ซึ่งในแปลงหญ้า อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิจะถูกเปลี่ยนแปลงลดลงในสภาพที่ทรงพุ่มได้รับแสงน้อย และโดยอิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราการหายใจของพืชในเวลากลางคืน อย่างไรก็ตามจากการทดลองซึ่งทำในข้าวโพดและหญ้า (*Cenchrus ciliaris*) ซึ่งให้เห็นว่าในหญ้าเขตร้อน อุณหภูมิจะมีอิทธิพลต่ออัตราการเจริญเติบโตอย่างชัดเจน ซึ่งอิทธิพลดังกล่าวจะส่งผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิในที่สุด นอกจากนี้อุณหภูมิที่เหมาะสมที่วัดได้สำหรับอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิในพืชตระกูลถั่วและหญ้าเขตร้อนจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตทั้งหมดของพืช (total plant growth) [8]

หญ้าและถั่วเขตอบอุ่นมีอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโต (whole plant growth) อยู่ในช่วง 10 ถึง 25 องศาเซลเซียส และถึงแม้ว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส อัตราการเจริญเติบโตจะลดลงอย่างรวดเร็วก็ตาม แต่ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสพืชยังคงมีการเจริญเติบโตและมีความแข็งแรงอยู่ [12] ตรงกันข้าม หญ้าและถั่วเขตร้อนจะมีการเจริญเติบโตเพียงเล็กน้อยที่อุณหภูมิต่ำกว่า 15-17 องศาเซลเซียส แต่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดที่อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส สำหรับพืชตระกูลถั่ว และ 35-40 องศาเซลเซียสสำหรับพืชตระกูลหญ้า [5]

3. อิทธิพลของการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตของพืชอาหารสัตว์

ความเข้าใจเกี่ยวกับอิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อพืชเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากการศึกษาในระดับใบ และบางการทดลองเป็นการศึกษาในระยะยาวเกี่ยวกับอิทธิพลของการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการสังเคราะห์แสงและการหายใจในระดับพุ่มใบพืช ซึ่งส่วนใหญ่มักทำในห้องควบคุมทั้งแบบปิดและแบบเปิดด้านบน (close- and open-top chamber) และมีงานวิจัยบางเรื่องทำในแปลงทดลองขนาดใหญ่ (Free-Air CO₂

Enrichment, FACE) ซึ่งวิธีดังกล่าวค่อนข้างเป็นประโยชน์มาก และใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด แต่ลงทุนค่อนข้างสูง Drake และ Leadley [13] ได้สรุปงานวิจัยที่ผ่านมาดังนี้ (1) อัตราการสังเคราะห์แสงของพุ่มใบพืชเพิ่มขึ้น เมื่อคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ซึ่งต้องมีแหล่งสำหรับเก็บคาร์บอน (sink available for the carbon), (2) อิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์จะมีผลมากที่สุดที่อุณหภูมิสูงสุด, (3) การเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์จะเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่มีปฏิกริยาร่วมกันหลายตัว เช่น สถาปัตยกรรมของพุ่มใบ และการถ่ายเทสารอาหาร (partitioning of assimilation) ซึ่งเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างพุ่มใบและระบบนิเวศน์

โดยทั่วไปการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศจะทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น แต่จะไม่ใช่สัดส่วนโดยตรงกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากยังมีปัจจัยอื่นๆที่เป็นตัวจำกัดการสังเคราะห์แสงด้วยเช่นปริมาณสารอาหาร, ความชื้นในดิน, อุณหภูมิ และความเข้มของแสง เป็นต้น [14, 15] จากการศึกษาของ Graves และ Reavey [15] พบว่าในช่วงแรกเมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น อัตราการสังเคราะห์จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงแต่เมื่อความเข้มข้นสูงมากอัตราการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้าลงและคงที่ในที่สุด การเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีผลต่อกระบวนการ carboxylation โดยตรง ซึ่งก่อให้เกิดการรวมตัวกันระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับ Ribulose biphosphate (RuBP) ในพืช C_3 และ Phosphoenol pyruvate (PEP) ในพืช C_4

โดยธรรมชาติของพืช C_4 มีกลไกในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ที่ประสิทธิภาพสูงกว่าพืช C_3 [5] ดังนั้นจึงทำให้พืช C_4 มีการตอบสนองต่อการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศน้อยกว่าพืช C_3 ซึ่ง Unsworth และ Hogsett [16] รายงานว่าหากความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของพืช C_3 จะเพิ่มขึ้นประมาณ 50-100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่พืช C_4 อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิจะเพิ่มขึ้นแค่เพียง 10 เปอร์เซ็นต์

Lawlor และ Mitchell [17] รายงานว่าหากปัจจัยทางสภาพอากาศอื่นๆไม่เปลี่ยนแปลงและมีการจัดเตรียมหน้า

อาหารและการควบคุมศัตรูพืชอย่างเพียงพอ ผลผลิตของพืช C_3 และ C_4 ที่ปลูกในสภาพที่มีระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 700 ไมโครโมลต่อโมลคาร์บอนไดออกไซด์จะสูงกว่าพืช C_3 และ C_4 ที่ปลูกในสภาพอากาศปัจจุบัน (350 ไมโครโมลต่อโมลคาร์บอนไดออกไซด์) ประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์และ 9 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ Schenk et al. [18] ทดลองปลูกหญ้า perennial ryegrass ผสมถั่ว white cover โดยมีสัดส่วนหญ้าต่อถั่วต่างๆกัน ในแปลงขนาดเล็กภายในห้องควบคุมแบบ open-top chamber ที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 380 ppm และ 670 ppm โดยทำการปลูกในช่วงฤดูเพาะปลูกของปี 1992 และ 1993 ซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 19.4 องศาเซลเซียสและ 64.1 เปอร์เซ็นต์ และ 16.7 องศาเซลเซียสและ 72.8 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แล่ได้รับรังสี (400-700 nm PAR) เฉลี่ย 502 และ 398 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับพบว่าเมื่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น ผลผลิตน้ำหนักแห้งทั้งหมดของแปลงผสมระหว่างหญ้าและถั่ว และแปลงเดี่ยวทั้งหญ้าและถั่วเพิ่มขึ้นทั้งสองปี โดยในปี 1992 และ 1993 แปลงเดี่ยว white cover เพิ่มขึ้น 38 เปอร์เซ็นต์ และ 16 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และแปลงเดี่ยว ryegrass เพิ่มขึ้น 9 เปอร์เซ็นต์ และ 5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในแง่องค์ประกอบและคุณค่าทางโภชนาการพบว่าการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้ความเข้มข้นของ Ca ของผลผลิตรวมทั้งหมดเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ความเข้มข้นของ K Na เยื่อใยหยาบ (crude fiber) และองค์ประกอบเถ้า (ash content) ลดลง ในขณะที่ความเข้มข้นของ P S และ Mg ไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนโปรตีนหยาบ (crude protein) จะลดลงในช่วงเริ่มต้นของฤดู และจะสูงขึ้นในการเก็บเกี่ยวครั้งที่ 3 และ 4 และสัดส่วนของ Ca/P จะสูงขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ Ca

Barbehenn et al. [19] รายงานว่าในสภาพแวดล้อมที่ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ของปัจจุบัน หญ้า C_3 จะมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งฟรุคแทน (Fructan) เพิ่มขึ้นถึง 3 เท่า นอกจากนี้ หญ้า C_3 ยังคงมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่า หญ้า C_4 โดยพบว่าโปรตีน non-structural carbohydrate และน้ำตาลสูงกว่าหญ้า C_4 แต่มีเยื่อใย

ความเหนียว (toughness) และสัดส่วนระหว่างคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดต่อโปรตีนต่ำกว่าหญ้า C_4

การทดลองของ Ryle et al. [20] ได้แสดงให้เห็นว่าหญ้า perennial ryegrass ซึ่งปลูกในสภาพที่มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงมีอัตราการสังเคราะห์แสงและประสิทธิภาพในการใช้น้ำสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการที่พืชปรับตัวให้มีการนำของปากใบ (stomatal conductance) ลดลง ดังนั้นจึงส่งผลให้ผลพืชมมีการคายน้ำลดลง

4.อิทธิพลของการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิต่อพืชอาหารสัตว์

เป็นที่ทราบกันดีว่าในอนาคตการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศจะเกิดควบคู่ไปกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศ Long [21] อธิบายกลไกผลกระทบของอุณหภูมิและคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการสังเคราะห์แสงของพืช C_3 โดยใช้โมเดลที่แสดงการตอบสนองของการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพุ่มไม้ต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปฏิกริยาร่วมของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิเป็นสาเหตุให้อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อ light-saturated rate ของการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของพืชสูงขึ้น หากความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น และหากไม่มีปฏิกริยาร่วมดังกล่าว การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลก 2.5 องศาเซลเซียส จะเพิ่มความถี่ของอุณหภูมิ (frequency of temperature) ในเขตอบอุ่นให้สูงกว่าระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อความอึดตัวในการสังเคราะห์แสง (light-saturated photosynthesis) อย่างไรก็ตามหากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในระดับนี้เกิดขึ้นร่วมกับการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เกิน 500 ไมโครโมลต่อโมลของคาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิที่เหมาะสมจะสูงขึ้นและการยับยั้งดังกล่าวจะไม่เกิดขึ้น Idso [22] ได้ทดลองปลูกพืชไร่ใน field chamber ที่เมือง Phoenix มลรัฐ Arizona ในสภาพที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 300 และ 600 ไมโครโมลต่อโมลของคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งพบว่าการใช้คาร์บอนไดออกไซด์สุทธิของพุ่มไม้ (net canopy CO_2 uptake) เพิ่มขึ้น หากอุณหภูมิและความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น

Fritschi et al. [23] ทดลองปลูก Rhizoma peanut (Arachis glabrata Benth.) และหญ้า bahiagrass (Paspalum notatum Flugge) ซึ่งเป็นพืช C_3 และ C_4 ตามลำดับในเรือนกระจก (temperature-gradient greenhouse, TGG) เพื่อประเมินอิทธิพลของการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ และอุณหภูมิต่อองค์ประกอบของเนื้อเยื่อและการย่อยได้ (digestibility) โดยมีระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 365 ไมโครลิตรคาร์บอนไดออกไซด์ต่อลิตร (ระดับปกติ) และ 640 ไมโครลิตรคาร์บอนไดออกไซด์ต่อลิตร โดยควบคุมอุณหภูมิภายใน TGG ให้สูงกว่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม 0.2 1.5 2.9 และ 4.5 องศาเซลเซียสตามลำดับ พบว่าการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้ความเข้มข้นของ non-structural carbohydrate (TNC) ในใบของ Rhizoma peanut เพิ่มขึ้นเกือบ 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบต่ำลง 6 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเหง้าใหม่ (new rhizome) เพิ่มขึ้นอย่างไรก็ตามความเข้มข้นของไนโตรเจนในหญ้า bahiagrass ไม่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์หรืออุณหภูมิ ในแง่เยื่อใยพบว่าอิทธิพลของความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิไม่ส่งผลต่อ neutral detergent fibre (NDF) ในใบและลำต้นของ rhizoma peanut อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ส่งผลให้ NDF ในใบของหญ้า bahiagrass เพิ่มขึ้น และเมื่อสิ้นสุดฤดูปลูกพบว่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (in vitro organic matter digestion, IVOMD) ของ rhizoma peanut ที่ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ปกติสูงกว่า (623 กรัมต่อกิโลกรัม) ที่ระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูง (609 กรัมต่อกิโลกรัม)

นอกจากนี้ Fritschi et al. [24] ยังพบอีกว่าการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้การสังเคราะห์แสงในระดับใบและทรงพุ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน Rhizoma peanut และผลผลิตมวลชีวะทั้งหมด (total biomass production) ของ Rhizoma peanut และหญ้า bahiagrass เพิ่มขึ้น 52 และ 9 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แต่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้ผลผลิตมวลชีวะ เพิ่มขึ้นเฉพาะหญ้า bahiagrass เท่านั้น

จากงานทดลองของ Fritschi et al. [23] ; Fritschi et al. [24] และ Schenk et al. [18] ได้แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิมีผลทำให้ผลผลิตและองค์ประกอบของพืชอาหารสัตว์เปลี่ยนแปลง ซึ่งย่อมส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศวิทยาของทุ่งหญ้า โดยอาจทำให้พืชอาหารสัตว์ที่ปรับตัวได้ดีเพิ่มจำนวนสูงขึ้น ในขณะที่พืชอาหารสัตว์ที่มีการปรับตัวน้อยกว่าอาจลดลงหรือสูญหายไปจากทุ่งหญ้า

การเปลี่ยนแปลงในแง่ขององค์ประกอบของพืชอาหารสัตว์ อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพืช สัตว์กินพืช และโรคพืช โดยเฉพาะพฤติกรรมการกินของแมลง [25] และสัตว์เคี้ยวเอื้อง [26] Fisher et al. [27] ทำการทดลองตัดหญ้าเพื่อนำมาทำหญ้าแห้งสำหรับสัตว์ (hay) โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลาคือตัดช่วงเช้าและบ่าย ซึ่งพบว่าแกะ แพะ และโค จะเลือกกินหญ้าแห้งที่ตัดในช่วงบ่ายมากกว่า ($p < 0.01$) หญ้าแห้งที่ตัดในช่วงเช้า ทั้งนี้เกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณ TNC ในพืชสอดคล้องกับการทดลองของ Orr et al. [28] ซึ่งได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการหาและกินในแกะพบว่ารูปแบบของอัตราการกินของแกะในรอบวัน (diurnal pattern in intake rate) จะสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณ TNC ในพืชอาหารสัตว์เช่นกัน จากทั้งสองการทดลองชี้ให้เห็นว่าองค์ประกอบทางเคมีในพืชอาหารสัตว์เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับความชอบอาหาร (food preferences) ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ไม่เพียงแต่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพของพืชอาหารสัตว์เท่านั้น แต่ยังมีผลกระทบต่อไปยังการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพฤติกรรมการกิน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการผลิตสัตว์และทุ่งโซอาหารในที่สุด ดังนั้นเกษตรกรหรือนักวิชาการในสาขาที่เกี่ยวข้อง จึงควรทำการศึกษาเพื่อหารูปแบบหรือแนวทางในการจัดการฟาร์มที่เหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมในอนาคต

5.สรุป

การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิจะมีผลทำให้ผลผลิตของพืชอาหารสัตว์เพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของพืชอาหารสัตว์ C_3 จะมากกว่าพืชอาหารสัตว์ C_4 นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิยังส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของพืชอาหารสัตว์ โดยเฉพาะ non-structural carbohydrate โปรตีนและเยื่อใย ซึ่งอาจมีผลต่อพฤติกรรมการกินของสัตว์กินพืชและทุ่งโซอาหาร

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Wuebbles, D.J. and Edmonds, J., *Primer on Greenhouse Gases*, Lewis Publishers, Chelsea, 230 p, 1991.
- [2] IPCC, *Climate Change : the Supplementary Report to IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, 1992.
- [3] Berner, E.K. and Berner, R.A., *Global Environment Water, Air, and Geochemical Cycles*. Prentice Hall, New Jersey, 376 p., 1996.
- [4] Gardner, F.P., Pearce, R.B. and Mitchell, R.L., *Physiology of Crop Plants*, Iowa University Press, Ames, 327 p, 1990.
- [5] Whiteman, P.C., *Tropical Pasture Science*. Oxford University Press, Oxford, 392 p, 1980.
- [6] Keatinge, J.D.H., Stewart, R.H. and Garrett, M.K., *The Influence of Temperature and Soil Water Potential on Leaf Extension Rate of Perennial Ryegrass in Northern Ireland*, *J. Agric. Sci. (Cambridge)* Vol. 92 ; pp. 175-183, 1979.

- [7] Ludlow, M.M. and Wilson, G. L., Photosynthesis in Tropical Pasture Plants. I. Illuminance, Carbon-dioxide Concentration, Leaf Temperature and Leaf-air Vapour Pressure Difference, Aust. J. Biol. Vol. 24 ; pp. 449, 1971.
- [8] Ivory, D.A., The Effects of Temperature on Growth of Tropical Pasture Grasses. Ph.D. Thesis, University of Queensland, 1975.
- [9] Mitchell, K.J. 1956. Growth of Pasture Species under Controlled Environment. I. Growth at Various Level of Constant Temperature, N.Z. J. Sci. Techno. A Vol. 38 ; pp. 203, 1956.
- [10] Jozwik, F.X., Response of Mitchell Grass (*Astrelba* F. Muell.) to Photoperiod and Temperature, Aust. J. Agri. Vol. 21 ; pp. 395, 1970.
- [11] Ludlow, M.M. and Wilson, G. L., Growth of some Tropical Grasses and Legumes at Two Temperatures, J. Aust. Inst. Agric. Sci. Vol. 36 ; pp. 43, 1970.
- [12] Cooper, J.P. and McWilliam, J.R., Climatic Variation in Forage Grasses. 2. Germination, Flowering and Leaf Development in Mediterranean Populations of *Phalaris tuberosa*. J. Appl. Ecol. Vol. 3 ; 141, 1966.
- [13] Drake, B.G. and Leadley, P.W., 1991. Canopy photosynthesis of crops and native plant communities exposed to long-term elevated CO₂ treatment. Plant, Cell and Environment 14 : 853-860, 1991.
- [14] Long, S.P. and Drake, B.G., Photosynthetic CO₂ Assimilation and Rising Atmospheric CO₂ Concentration, pp.69-103. In N.R. Baker and H. Thomas (eds.). Crop Photosynthesis : Spatial and Temporal Determinants. Elsevier, Amsterdam, 1992.
- [15] Graves, J. and Reavey, D., Global Environmental Change : Plants, Animals and Communities, Longman, Malaysia, 226 p, 1996.
- [16] Unsworth, M.H., and Hogsett, W.E. Combined effects of changing CO₂, Temperature, UV-B Radiation and O₃ on crop growth, pp.171-197. In F. Bazzaz And W. Sombroek (eds). Global Climate Change and Agricultural Production. John Wiley & Son, Chichester, 1996.
- [17] Lawlor, D.W. and Mitchell, R.A.C., The Effects of Increasing CO₂ on Crop Photosynthesis and Productivity : a Review of Field Studies, Plant, Cell and Environment Vol. 14 ; pp. 807-818, 1991.
- [18] Schenk, U., Jaker, H.J. and Weigel, H.J., The Response of Perennial Ryegrass/White Clover Mini-swards to Elevated Atmospheric CO₂ Concentrations : Effects on Yield and Fodder Quality, Grass and Forage Science Vol. 52 ; pp. 232-241, 1997.
- [19] Barbehenn, R.V., Chen, Z., Karowe, D.N. and Spickard, A., C3 Grasses have Higher Nutritional Quality than C4 Grasses under Ambient and Elevated Atmospheric CO₂, Global Climate Change Vol.10 ; pp. 1565-1575, 2004.
- [20] Ryle, G.J.A., Powell, C.E. and Tewson, V., Effect of Elevated CO₂ on the Photosynthesis, Respiration and Growth of Perennial Ryegrass, J. Exp. Bot. Vol. 43 ; pp. 811-818, 1992.
- [21] Long, S.P., Modification of the Response of Photosynthetic Productivity to Rising Temperature by Atmospheric CO₂ Concentrations : Has its

- Importance been Underestimated?, Plant, Cell and Environment, Vol. 14 ; pp. 729-739, 1991.
- [22] Idso, S.B., Interactive Effects of Carbon Dioxide and Climate Variables on Plant Growth, pp.61-69. In Kimball ,B.A., Rosenberg, N.J. and Allen Jr., L.H. (eds). Impact of Carbon Dioxide, Trace Gases, and Climate Change on Global Agriculture. ASA Spec. Pub. No.53, American Society of Agronomy, Medison, 1990.
- [23] Fritschi, F.B., Boote, K.J., Sollenberger, L. E. and Allen Jr, L.H., Carbon Dioxide and Temperature Effects on Forage Establishment : Tissue Composition and Nutritive Value, Global Change Biology Vol. 5 ; pp. 743-753, 1999.
- [24] Fritschi, F.B., Boote, K.J., Sollenberger, L. E., Allen Jr., L.H. and Sinclair, T.R., Carbon Dioxide and Temperature Effects on Forage Establishment : Photosynthesis and Biomass Production, Global Change Biology Vol. 5 ; pp. 441-453, 1999.
- [25] Roth, S.K. and Lindroth R. L., Elevated atmospheric CO₂: effects on phytochemistry, insect performance and insect-parasitoid interactions. Global Change Biology Vol. 1 ; pp. 173-182, 1995.
- [26] Owensby, C.E., R.C. Cochran and Auen, L. M., Effects of Elevated Carbon Dioxide on Forage Quality for Ruminants, pp. 363-371. In Korner, C. and Bazzaz, F.A. (eds). Carbon Dioxide, Populations, and Communities. Academic Press, San Diego, 1996.
- [27] Fisher, D.S., Mayland, H.F. and Burns, J.C., Variation in ruminants preference for Tall Fescue hays cut either at sundown or at sunup J. Anim. Sci. 77:762-768, 1999.
- [28] Orr, R.J., Penning, P.D., Harvey, A. and Champion, R. A., Diurnal Patterns of Intake Rate by Sheep Grazing Monocultures of Ryegrass or White Clover, Appl. Anim. Behav. Sci. Vol. 52 ; pp. 65-77, 1997.